

金 矿

地球物理、地球化学勘查 新方法新技术研究论文集

王继伦
李善芳 主编
顾正乾



中南工业大学出版社

新
知
如
舟

PDG

金矿地球物理、地球化学勘查 新方法新技术论文集

王继伦
李善芳 主编
顾正乾

中南工业大学出版社

【湘】新登字 010 号

金矿地球物理、地球化学勘查新方法新技术论文集

王继伦 李善芳 顾正乾 主编

责任编辑：文 刀

*

中南工业大学出版社出版发行

核工业中南230研究所印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：16.5 字数：404千字

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数：001—800

*

ISBN7-81020-717-2/P.033

定价：18.00元

本书如有印装质量问题，请直接与生产厂家联系解决

前 言

本论文集是国家重点黄金地质科技攻关项目中的科研课题——“金矿地球物理、地球化学勘查方法研究以及寻找隐伏金矿床物探、化探新方法新技术的研究”的研究论文。该课题是由国家科委组织我国科研单位、大专院校及地矿部、有色金属工业总公司、冶金工业部、核工业总公司、武警黄金部队等各部门物探、化探专业队伍进行的联合攻关项目,是目前我国金矿物化探方法技术涵盖最广泛、研究较深入、内容丰富、创新较多的一项研究工作。

该课题是在较高起点上开展的,某些方面当属金矿物化探方法研究和应用的前沿课题,取得了引人注目的成果,在开展应用研究的许多地区还优选出一批金矿普查远景区、靶区和可供工程验证的异常,解决了一些勘探和工程布置上的难题。本论文集中所汇集的论文,就是在各专题研究的基础上,将科研成果总结、提炼,撰写成论文,其中绝大部分论文是首次公开发表。

论文集的内容除包括了当前金矿物化探工作中的主要方法技术外,还包括了一些理论探讨的问题。物探方法有航空物探、高精度磁测、 γ 能谱、电磁法、井中电法和电磁波法等在金矿上的研究与应用;化探方面有快速追踪异常源、包裹体和气体地球化学、金的表生作用地球化学、筛选和评序区域化探异常、相态分析技术、水化学方法等在金矿上的研究与应用;微机数字图象处理、物化探异常分离数形拟合计算机处理。

本论文集中有的论文中所涉及的有些观点、思路属于探索性的,难免会有疏漏和不完善之处,有些新的方法、技术的试验研究工作做得还不够深入、细致,希望从事这方面工作的同行们能与作者再进一步探讨,对错误之处欢迎批评指正。

编者

1994年11月

目 录

地球物理勘查部分

磁异常梯度的磁偶层分析方法

侯俊胜 王继伦 (1)

航空物探异常评价和找矿靶区预测的方法

——综合信息量条件概率模型评价法

欧介甫 孟庆敏 袁桂琴 柳 义 刘崇群 林少一 (9)

航空伽玛能谱找金及成矿预测研究

刘英杰 (20)

微机数字图象处理技术在金矿找矿中的应用

董晓辉 (26)

高精度磁测在陕西小秦岭地区找金工作中的应用效果

张晓明 (31)

电磁频率测深法在金矿找矿中的应用

李 松 (37)

地面甚低频电磁法找金的应用研究

闫 恕 郭玉峰 (47)

车载 γ 能谱测量方法找金的研究

马宗祥 (59)

伽玛能谱找金矿的研究

索忠恕 赵友清 (64)

冀东花岗绿岩型金矿 γ 能谱特征与应用研究

张代伦 (72)

综合井中电测在小秦岭地区金矿床上的应用效果

樊金生 (79)

层析技术在金矿勘查中应用的可能性研究

吴以仁 张海云 唐玉民 何建文 (89)

地球化学勘查部分

山东招掖地区非常规化探方法找寻隐伏金矿的研究

伍宗华 金仰芬 黄宏库 郭英杰 张利芬 刘华忠 (99)

瑶沟等地区勘查金矿的放射性和非放射性气体地球化学方法的研究	
游云飞	(112)
金矿床包裹体地球化学异常特征及晕模型	
李 惠 王文农 苑月肖 李德亮	(120)
金在疏松物中的表生作用地球化学特征及其在找矿中的应用	
朱有光 蒋敬业 胡国俊 李树新	(128)
江西抚州地区金表生地球化学作用及其在找矿中的应用	
张卫民 史维浚 周文斌 彭人勇 袁晓庆	(139)
运积物地区利用后生异常寻找金矿方法技术的研究	
王义为 孙凤舟 王春起 郝 然 刘振昌	(150)
电吸附找矿方法寻找隐伏金矿的可行性研究	
张茂忠 周奇明	(163)
评价金化探异常的新方法	
龚美菱	(171)
一种新的用偏提取技术寻找隐伏金矿床的方法	
周丽沂 孙晓玲 杨少平 张 勤	(183)
化探快速追踪金异常源方法研究	
李兴国	(195)
甘肃西秦岭地区化探快速追踪异常源研究	
高珍权	(205)
综合应用多种物化探方法现场测试技术快速追踪和评价金异常的研究	
门春茂 葛良全	(212)
北方干旱区水化学找金的方法技术研究	
苏美霞 冷福荣 蒋瑞金	(222)
东北某地水文地球化学方法找金研究	
王 超 孙作振	(231)
利用多元素地球化学数据识别金异常的方法研究及其应用	
余金生 蒋金荷 张效民	(238)
区域化探找金快速评价筛选异常的数理统计方法——“金本位”综合参数法	
许金荣	(246)
拉日玛等地区金矿物化探异常分离数形拟合计算机处理及其应用	
唐声煌 张静波 毛迟仙 芮本善 赵志明	(254)

磁异常梯度的磁偶层分析方法

侯俊胜

(中国地质大学, 北京, 100083)

王继伦

(冶金部地球物理勘察院, 保定, 071051)

摘要 本文根据位场基本理论,研究了磁性体磁异常梯度与磁偶层磁异常的等价性问题,从而,导出了它们二者的等价条件。据此,提出了磁异常梯度的磁偶层分析方法。并且,以二度磁性体(极体)为例进行了异常的对比分析,有效地证明了用该方法分析磁异常梯度比采用常规的面磁荷方法的优越性。

1 引言

磁异常梯度作为磁法测量的一个新参量,国内外大量应用实践表明,该参量在磁测资料解释中可以发挥重要作用。例如,冶金部地球物理勘察院自1987年以来,利用航磁垂直梯度等综合航空物探资料在大比例尺金矿地质填图和成矿预测等方面取得了令人满意的地质效果。但是,在实际资料研究过程中人们也发现,由于磁梯度不易与磁性地质体的特征等参数相联系,这就给磁梯度的资料解释造成一些困难。目前,根据磁荷观点,分析磁性体磁梯度一般是采用如下模式:场源(磁荷) $\rightleftharpoons$ 磁异常 $\rightleftharpoons$ 磁梯度。为了使磁梯度易与场源特征相联系,便于磁梯度资料的解释,可以将磁梯度转化为一种磁异常来理解,即采用如下模式分析磁梯度:场源(用新的场源形式代替前面的磁荷) $\rightleftharpoons$ 磁异常。下面从位场理论出发,来讨论磁性体磁梯度与磁偶层磁异常的等价性问题,根据等价条件,即可采用第二种模式进行分析磁梯度资料,据此提出了磁梯度的磁偶层异常分析方法。

2 磁性体磁梯度与磁偶层磁异常的等价条件

2.1 二度磁性体与磁偶层

如图1所示,二度体被磁化强度 J 均匀磁化。根据位场理论,空间任意点 $P(x, z)$ 的磁位计算公式为^[1]

$$u = \iint_V \frac{2(J \cdot r)}{r^3} ds \quad (1)$$

其中 r 为 $P(x, z)$ 点到场源点之间距离(r)矢量,其方向指向 P 点。

设 t_1 方向磁异常为 T_1 ,对(1)式求导数可得 T_1 的计算公式

$$T_1 = -t_1 \cdot \nabla u = -\iint_V 2 \cdot t_1 \cdot \nabla \left(\frac{J \cdot r}{r^3} \right) ds$$

$$= - \iint_s 2 \left[\frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{t}_1}{r^2} - \frac{2(\mathbf{r} \cdot \mathbf{J}) \cdot (\mathbf{r} \cdot \mathbf{t}_1)}{r^4} \right] ds \quad (2)$$

设 l 方向上的方向梯度为 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$, 对 (2) 式求导数可

得 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 的计算公式

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial l} &= l \cdot \nabla T_1 \\ &= 2l \iint_s \nabla p \left[\frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{t}_1}{r^2} - \frac{2(\mathbf{r} \cdot \mathbf{J}) \cdot (\mathbf{r} \cdot \mathbf{t}_1)}{r^4} \right] ds \\ &= - \iint_s 2(l \cdot \nabla p R) ds = - \iint_s 2(l \cdot \nabla_m R) ds \quad (3) \end{aligned}$$

其中 $R = \frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{t}_1}{r^2} - \frac{2(\mathbf{r} \cdot \mathbf{J}) \cdot (\mathbf{r} \cdot \mathbf{t}_1)}{r^4}$, ∇_p 和 ∇_m 分别为计算点和场源点的梯度算子, 且有 $\nabla_p = -\nabla_m$ 。

根据矢量叉乘恒等式可得^[1]

$$\begin{aligned} -(l \cdot \nabla_m R) &= \mathbf{n}_1 \cdot [l \cdot (\nabla_m R \cdot \mathbf{n}_1) - \mathbf{n}_1 \cdot (\nabla_m R \cdot l)] \\ &= \mathbf{n}_1 \cdot [\nabla_m R \times (l \times \mathbf{n}_1)] \end{aligned}$$

根据已知的旋度恒等式可得^[1]

$$\begin{aligned} \mathbf{n}_1 \cdot [\nabla_m R \times (l \times \mathbf{n}_1)] &= \mathbf{n}_1 \cdot [R \cdot \text{rot}_m(l \times \mathbf{n}_1) + \nabla_m R \times (l \times \mathbf{n}_1)] \\ &= \mathbf{n}_1 \cdot \text{rot}_m[(l \times \mathbf{n}_1) \cdot R] \end{aligned}$$

利用旋度的斯托克斯公式, 可将 (3) 式面积分转变为线积分, 即有

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial l} &= - \iint_s 2 \cdot \text{rot}_m[(l \times \mathbf{n}_1) \cdot R] \cdot \mathbf{n}_1 \cdot ds \\ &= - \int_{\tau} 2 \cdot l \cdot (\mathbf{n}_1 \times \boldsymbol{\tau}) \cdot R \cdot d\boldsymbol{\tau} \\ &= \int_{\tau} 2 \cdot (l \cdot \mathbf{n}) \cdot R \cdot d\boldsymbol{\tau} \quad (4) \end{aligned}$$

其中 $\boldsymbol{\tau}$ 为边界 τ 的切线方向矢量, $\mathbf{n}$ 为 $\boldsymbol{\tau}$ 的外法线方向, 它们与 $\mathbf{n}_1$ 的关系为 $\mathbf{n}_1 = \mathbf{n} \times \boldsymbol{\tau}$, 这里的 r 为 $P(x, z)$ 点到边界 τ 之间的距离, $\mathbf{r}$ 为 $\mathbf{r}$ 的方向矢量, 方向指向 P 点。

对 (1) 式应用斯托克斯公式, 可得利用边界 τ 上的面磁荷 $\sigma = \mathbf{J} \cdot \mathbf{n}$ 的计算空间任意点 P 的磁位公式

$$u = \int_{\tau} 2\sigma \cdot \ln \frac{1}{r} d\boldsymbol{\tau} \quad (1)'$$

对 (1)'

式求 t_1 方向的导数, 可得利用面磁荷 σ 的 T_1 计算公式

$$T_1 = -t_1 \cdot \nabla_p u = -2t_1 \cdot \int_{\tau} \nabla_p u \left[\sigma \cdot \ln \frac{1}{r} \right] d\boldsymbol{\tau} = \int_{\tau} 2\sigma \cdot \frac{t_1 \cdot \mathbf{r}}{r^2} d\boldsymbol{\tau} \quad (2)'$$

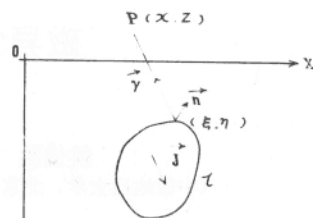


图 1 二度体剖面示意图

对 (2)' 式求 l 方向的导数, 可得利用 σ 的 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 计算公式

$$\begin{aligned}\frac{\partial T_1}{\partial l} &= l \cdot \nabla_P T_1 \\ &= \int_{\tau} 2\sigma \cdot \left[\frac{t_1 \cdot l}{r^2} - \frac{2(r \cdot l) \cdot (t_1 \cdot l)}{r^4} \right] d\tau\end{aligned}\quad (3)'$$

假若如图 1 所示的二度磁性作用磁偶层矩等于 M , 其形状与边界是 τ 完全相同的磁偶层替代, 根据磁偶极子磁位公式, 可得该磁偶层在 P 点的磁位计算公式

$$U = \int_{\tau} \frac{2(M \cdot r)}{r^2} d\tau \quad (5)$$

设 t_2 方向的磁异常记为 T_2 , 对 (5) 式求导数, 可得磁异常 T_2 的计算公式

$$\begin{aligned}T_2 &= -t_2 \cdot \nabla_P U \\ &= - \int_{\tau} 2 \cdot \left[\frac{M \cdot t_2}{r^2} - \frac{2 \cdot (r \cdot t_2) \cdot (M \cdot r)}{r^4} \right] d\tau\end{aligned}\quad (6)$$

若令 (6) 式、(4) 式和 (3)' 式中的 $t_1 = t_2$, 则可得使磁偶层磁异常 T_2 与磁异常梯度 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 的等价条件, 即有

若 $M \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot l)$, 或者 $M \hookrightarrow -\sigma \cdot l$

则 $T_2 \hookrightarrow \frac{\partial T_1}{\partial l}$

因此, 根据上述等价关系, 可得磁异常垂直梯度和水平梯度与磁偶层磁异常的等价条件分为

若 $M \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot k)$, 或者 $M \hookrightarrow -\sigma \cdot k$

则 $T_2 \hookrightarrow \frac{\partial T_1}{\partial z}$

以及

若 $M \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot i)$, 或者 $M \hookrightarrow -\sigma \cdot i$

则 $T_2 \hookrightarrow \frac{\partial T_1}{\partial x}$

其中 k 和 i 分别坐标 z 轴和 x 轴的单位方向矢量, $\frac{\partial T_1}{\partial z}$ 和 $\frac{\partial T_1}{\partial x}$ 分别为磁性体的垂直梯度和水平梯度。

2.2 三度磁性体与磁偶层

如图 2 所示, 任意三度体被磁化强度 J 均匀磁化。根据位场理论, 可得 $P(x, y, z)$ 处的磁位计算公式

$$U = \iiint_v \frac{J \cdot R}{R^3} dv \quad (7)$$

其中 v 为三度体所占空间区域, R 为场源点到计算点 $P(x, y, z)$ 之间的距离, R 为 R 的方向矢量, 其方向指向 P 点。

根据 (7) 式, 可得 t_1 方向上磁异常 T_1 的计算公式。

$$\begin{aligned}
 T_1 &= -t_1 \cdot \nabla_p U = -t_1 \cdot \iiint_v \nabla_p \left(\frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{R}}{R^3} \right) dv \\
 &= -\iiint_v \left[\frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{R}}{R^3} - \frac{3 (\mathbf{J} \cdot \mathbf{R}) \cdot (\mathbf{R} \cdot \mathbf{t}_1)}{R^5} \right] dv \quad (8)
 \end{aligned}$$

根据 (8) 式, 可得 t_1 方向磁异常的方向导数 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 的计算公式

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial T_1}{\partial l} &= l \cdot \nabla_p \cdot T_1 = -\iiint_v l \cdot \nabla_p \cdot \mathbf{R}' \cdot dv \\
 &= -\iiint_v l \cdot \nabla_m \cdot \mathbf{R}' \cdot dv \quad (9)
 \end{aligned}$$

其中 $\mathbf{R}' = \frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{R}}{R^3} - \frac{3 (\mathbf{J} \cdot \mathbf{R}) \cdot (\mathbf{R} \cdot \mathbf{t}_1)}{R^5}$, ∇_p 与 ∇_m 意义同前。

根据已知的散度恒等式, 可得

$$\text{div}_m (l \cdot \mathbf{R}') = \mathbf{R}' \cdot \text{div}_m l + l \cdot \nabla_m \cdot \mathbf{R}'$$

因为 l 为常矢量, 所以, $\text{div}_m l = 0$, 则为

$$\text{div}_m (l \cdot \mathbf{R}') = l \cdot \nabla_m \cdot \mathbf{R}' \quad (10)$$

将 (10) 式代入 (9) 式中, 并利用高斯定理可得^[1]

$$\frac{\partial T_1}{\partial l} = -\iiint_v \text{div}_m (l \cdot \mathbf{R}') dv = \iint_s (l \cdot \mathbf{n}) \mathbf{R}' ds \quad (11)$$

其中 $\mathbf{n}$ 为三度体边界面 S 的外法线方向。

对 (7) 式应用高斯定理, 可得利用边界面 S 上面磁荷分布 $\sigma = \mathbf{J} \cdot \mathbf{n}$, 计算空间任意点 P 的磁位公式

$$U = \iint_s \frac{\sigma}{R} ds \quad (7)'$$

根据 (7)' 式, 可得利用 σ 分布计算 T_1 的公式

$$T_1 = -t_1 \cdot \nabla_p U = \iint_s \sigma \cdot \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{t}_1}{R^3} ds \quad (8)'$$

根据 (8)' 式, 可得利用 σ 计算 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 的公式

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial T_1}{\partial l} &= l_1 \cdot \nabla_p T_1 \\
 &= \iint_s \sigma \cdot \left[\frac{\mathbf{t}_1 \cdot \mathbf{l}}{R^3} - \frac{3 (\mathbf{R} \cdot \mathbf{l}) \cdot (\mathbf{R} \cdot \mathbf{t}_1)}{R^5} \right] ds \quad (9)'
 \end{aligned}$$

假设如图 2 所示的三度体用磁偶层矩等于 $\mathbf{M}$, 形状与三度体边界面 (s) 完全一致的磁偶层替代, 则该磁偶层在空间任意点 P 的磁位计算公式为

$$U = \iint_s \frac{\mathbf{M} \cdot \mathbf{R}}{R^3} ds \quad (11)$$

根据 (11) 式, 可得 t_2 方向上磁异常 T_2 的计算公式

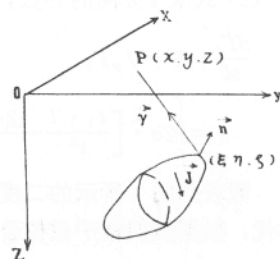


图 2 三度体空间位置示意图

$$T_2 = -t_2 \cdot \nabla_p U$$

$$= - \iint_s \left[\frac{M \cdot t_1}{R^3} - \frac{3(R \cdot t) \cdot (M \cdot R)}{R^5} \right] ds \quad (12)$$

对比 (12)、(9)' 和 (11) 三式, 若令 $t_1 = t_2$, 则可得三度体磁梯度 $\frac{\partial T_1}{\partial l}$ 与磁偶层磁异常 T_2 的等价条件。即

若 $M \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot l)$, 或者 $M \hookrightarrow -\sigma \cdot l$

则 $T_2 \hookrightarrow \frac{\partial T_1}{\partial l}$

通过对比二度体与正交体的等价条件可以看出, 二者完全一致。

因此, 根据前面所给出的磁异常梯度与磁偶层磁异常的等价条件, 通过一定代替, 即可将磁异常梯度的分析转化为磁偶层磁异常的分析, 据此我们提出了磁梯度的磁偶层定性分析方法。

3 磁梯度两种异常分析方法的比较

对于如图 1 所示的任意二度体截面, 可用有限多个多边形来逼近 (例如几个)。根据位场迭加原理, 空间任意点 P 的磁梯度就等于 n 个倾斜磁偶层的产生磁异常之和。设二度体有效磁化倾角为 i , 则磁化强度 J 可表示为 ($J = |J|$)

$$J = \cos i \cdot i + \sin i \cdot k$$

根据磁偶层磁异常与二度磁性体垂直梯度的等价条件, 则两者等价的偶层矩 M_1 可按如下方式替代:

$$\text{若 } M_1 \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot k) = -J \cdot \cos i \cdot i + \sin i \cdot k \cdot (n \cdot k)$$

根据磁偶层磁异常与二度磁性体水平梯度的等价条件, 则两者等价的偶层矩 M_2 可按如下方式替代:

$$\text{若 } M_2 \hookrightarrow -J \cdot (n \cdot i) = -J \cdot \cos i \cdot i + \sin i \cdot k \cdot (n \cdot i)$$

下面以二度板体为例, 来具体讨论磁梯度两种异常分析方法的比较问题。

设二度板体分直立和倾斜 (倾角等于 70°) 两种情况, 其中, $J = 1000 \times 10^{-6} \cdot 4\pi SI$, $i = 60^\circ$ 。为了说明前述磁异常梯度与磁偶层磁异常等价条件的正确性, 以直立板体为例, 分别采用磁偶层计算方法和经典的面磁荷计算方法进行了对比计算, 计算结果见图 3 与图 4 所示, 其中图中 x 号为用面磁荷方法的计算结果 (图中 ΔT_x 、 ΔZ_x 和 ΔH_x 分别为总场、垂直磁异常与水平磁异常的垂直梯度, ΔT_x 、 ΔZ_x 和 ΔH_x 分别为总场、垂直磁异常和水平磁异常的水平梯度, 以下图中的相同符号意义与此相同)。对比两者可以看出, 它们两者的异常曲线完全吻合, 由此说明了上述等价条件的正确性。

为了定性分析直立板体的磁异常梯度变化规律, 如果采用面磁荷方法, 那么要首先分析如图 5 所示四个面磁荷的产生的磁异常变化, 然后再分析它们的磁异常水平和垂直变化, 才能了解磁异常梯度的空间变化情况。可是, 如果采用磁偶层分析方法, 只需分析如图 6 和图

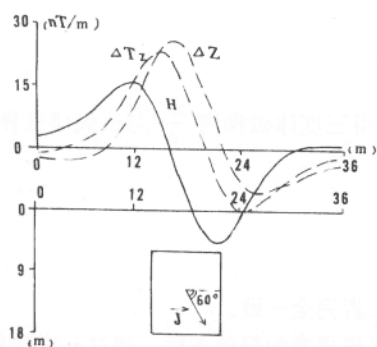


图3 直立板体的垂直梯度

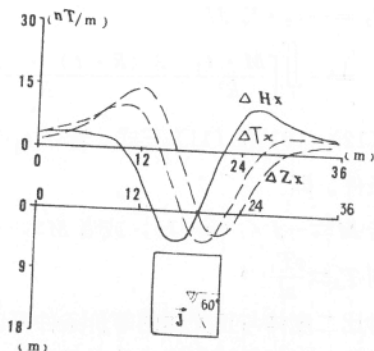


图4 直立板体的水平梯度

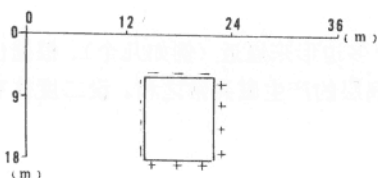


图5 直立板体的面磁荷分布

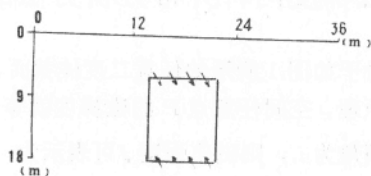


图6 直立板体垂直梯度的偶层矩分布

7 所示的两个磁偶层所产生的磁异常变化, 就可以实现分析直立板体的垂直和水平梯度的目的了。

关于倾斜板体的磁异常梯度计算结果见图 8 和图 9 所示。同样, 如果采用常规的面磁荷分析方法定性分析倾斜板体的磁异常梯度变化规律, 要首先研究如图 10 所示四个面磁荷所产生的磁异常变化情况, 然后再分析该异常的水平和垂直变化情况, 才能了解和掌握磁异常梯度的变化规律。可是, 如果采用磁偶层分析方法, 仅需分析如图 11 的示偶层矩分析(两个有限薄板)的产生的磁异常, 即可达到定性分析磁异常垂直梯度的目的; 通过分析如图 12 所示的偶层矩分布(有限延伸板体)的产生的磁异常, 即可达到分析了解倾斜板体的水平梯度的变化规律。

假若异常源为任意二度体, 可采用上面类似方法进行分析研究。因此, 通过上面理论模型曲线的对比分析, 不难看出采用磁偶层方法定性分析磁异常梯度的优越性。

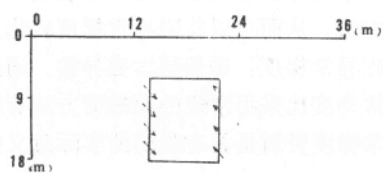


图 7 直立板体水平梯度的偶层矩分布

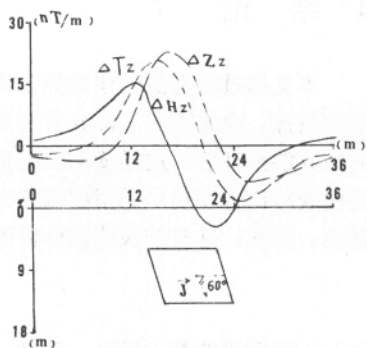


图 8 倾斜板体的垂直梯度

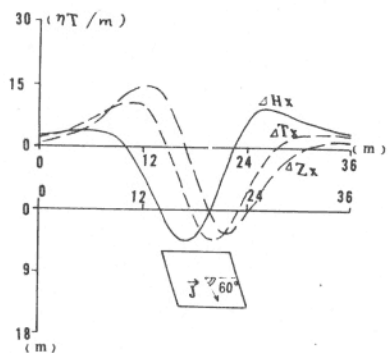


图 9 倾斜板体的水平梯度

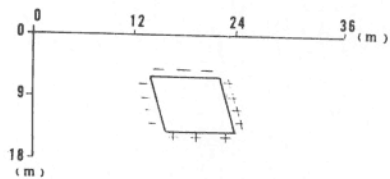


图 10 倾斜板体的面磁荷分布

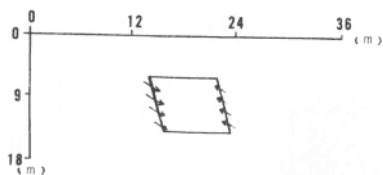


图 11 倾斜板体垂直梯度的偶层矩分布

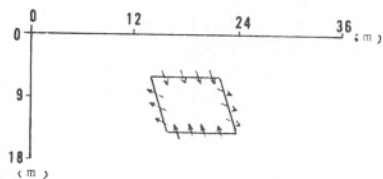


图 12 倾斜板体水平梯度的偶层矩分布

4 结 论

本文通过研究磁性体磁异常梯度与磁偶层磁异常的等价性问题，导出了它们二者之间的等价条件，由此提出了磁异常梯度的磁偶层分析方法。从而可以将磁异常梯度转化为磁偶层的磁异常来理解，这样就可以采用如下模式分析磁异常梯度：磁偶层 $\leftrightarrow$ 磁异常。通过理论模型曲线对比也发现，采用磁偶层方法来分析磁异常梯度比采用常规的面磁荷方法有较大的优越性。因此，这对于快速地分析研究大面积磁异常梯度资料是具有重要的实际意义的。

参 考 文 献

- [1] 薛琴访编著. 场论. 北京：地质出版社，1978.
- [2] 成都地质学院等编. 应用地球物理——磁法教程. 北京：地质出版社，1980.

航空物探异常评价和找矿靶区预测的方法

——综合信息量条件概率模型评价法

欧介甫 孟庆敏 袁桂琴 柳 义

刘崇群 林少一

(地矿部物化探研究所, 廊坊, 102849) (山东地矿局第六地质队, 招远, 265400)

摘 要 “综合信息量条件概率模型评价法”是一种评价航空物探异常和预测找矿靶区的方法。其基本要点是: 以航空物探资料为基础, 以地质、物探、化探和遥感等综合信息为依据, 运用概率统计原理和数学地质方法, 在已知成矿区带内, 将各种地质、地球物理、地球化学和遥感影象等标志统统转化成与某种成矿事件相关的找矿信息量, 进而建立综合信息量找矿模型, 以“模型”来评价航空物探异常和预测靶区, 从而实现异常评价和靶区预测的综合化、定量化和模型化, 提高异常解释的确定性和靶区预测的可靠性。该方法在胶东地区航空物探(电/磁)异常的找金评价和靶区预测的应用中, 获得了显著的找矿效果, 证明“方法”具有科学性实用性和有效性。

本文介绍“方法”的基本原理和评价异常、预测靶区的具体步骤, 并给出应用实例。

在航空物探勘查中, 优选异常和预测靶区是一个极为重要的课题。我们在胶东地区评价航空电磁异常反映构造带的含金性和预测靶区中, 研究应用了综合信息量条件概率模型评价法。该方法在筛选异常和预测靶区中具有综合化、定量化和模型化的重要特点, 从而提高了异常解释的确定性和靶区预测的可靠性。

1 方法技术

1.1 方法技术思路

首先研究探测目标物及其控制因素的电磁特性, 研究异常拥有的地质、地球物理、地球化学和遥感影象等综合标志(信息)与目标物直接或间接的内在联系; 然后在已知成矿区带内, 以概率统计方法为手段, 计算各种标志的找矿信息量, 从而建立矿床综合信息量统计模型; 再以模型定量评价异常和预测靶区。

1.2 方法技术流程

技术思路的实现详见异常综合信息评价——靶区预测技术流程图(图1)。

由流程图可知, 在异常评价和靶区预测中, 信息量模型的建立是整个工作的核心, 而综合标志信息量的赋值方法则是统计模型科学化的技术关键。

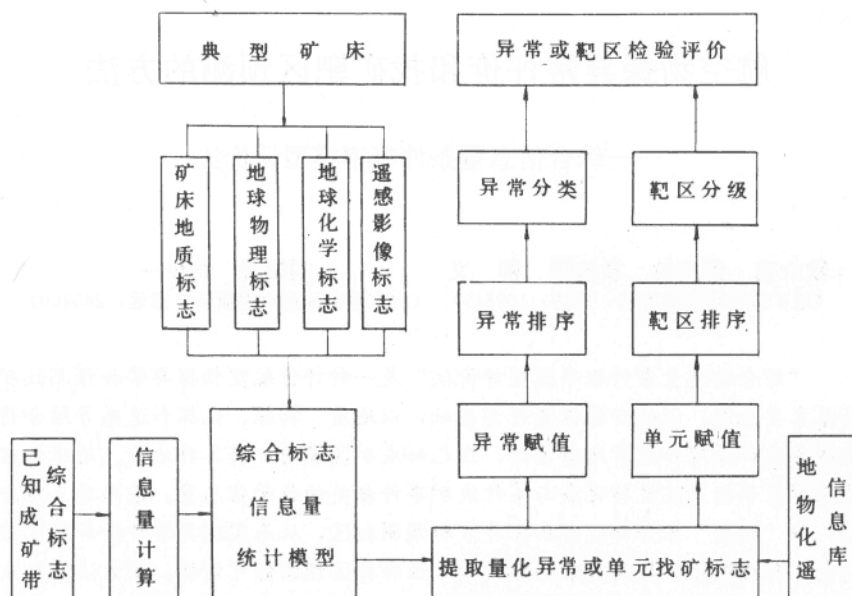


图1 异常综合信息量评价——靶区预测技术流程图

1.3 标志信息量计算方法^[1]

众所周知，地学研究的对象，大都受概率法则所支配。各种地质现象、地质演化过程及其产物都可视为随机事件，因此各种异常信息和地质标志则是具有随机性质的地质变量，各种地质规律大都服从一定的统计分布规律的。故此，我们引进《矿床统计预测》中地质变量（标志）的“信息量算法”来做为建模的统计工具，以实现定量评价异常和预测靶区。现将其基本原理、计算公式及其物理意义简介如下。

1) 基本原理

任何一种地质研究对象都由某些特定的地质条件或因素所控制；反言之，研究对象及其控制因素必然表现出某些特定的标志或信息，因此可以把这些控制因素和标志做为地质变量，用数理统计方法计算其与研究对象相关程度所提供的信息量来表征。因此，某种地质因素及标志对研究对象的作用，可通过对这些因素和标志所提供研究对象的信息量的计算来评价，即用信息量的大小来评价地质因素、标志与研究对象的关系密切程度。

2) 计算公式及其物理意义

表征某种地质标志的某个状态下成矿地质事件发生的信息量可采用条件概率的方法计算：

$$I_{A_i \rightarrow B} = \lg \frac{P(B|A_i)}{P(B)}$$

式中： $I_{A_i \rightarrow B}$ 表示 A 标志 i 状态提供成矿事件 B 发生的信息量；

$P(B|A_i)$ 表示 A 标志 i 状态存在条件下，成矿事件 B 实现的概率；

$P(B)$ 表示成矿事件 B 发生的概率。

实际应用时,因 $P(B)$ 在工作初期不易估计,利用条件概率乘法定量[对上式分子、分母同乘 $P(A)$ 、 $P(A|B)$ 再利用 $P(AB)=P(A|B)P(B)=P(B|A)P(A)$],上式可变为:

$$I_{A_i \rightarrow B} = \text{Lg} \frac{P(A_i|B)}{P(A_i)}$$

式中: $P(A_i|B)$ 表示已知成矿事件 B 发生的条件下出现 A_i 的概率;

$P(A_i)$ 表示已知成矿区带中 A_i 出现的概率。

具体运算时,总体概率用样本频率来估计。即得:

$$I_{A_i \rightarrow B} = \text{Lg} \frac{P^*(A_i|B)}{P^*(A_i)} = \text{Lg} \frac{N_i/N}{S_i/S}$$

此式即为实际应用的地质标志信息量计算公式。例如,在评价航空物探局部异常和预测找矿靶区中,先将选定的已知成矿带划分成许多等面积矩形小单元(比如在1:5万预测中,以 $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ 为1单元),利用此式计算出各种标志状态 A_i 的找矿信息量。此时,式中 $I_{A_i \rightarrow B}$ 为 A 标志 i 状态指示有矿(B)的信息量; N 为已知成矿带中含矿单元总数; N_i 为已知成矿带中标志 A_i 的含矿单元数; S 为已知成矿带中的单元总数; S_i 为有标志 A_i 的单元数。

上式表明,若 $P^*(A_i|B)=P^*(A_i)$,则 $I_{A_i \rightarrow B}=0$,这表明标志 A_i 不提供任何找矿信息,即标志 A_i 是否存在与成矿关系不密切;若 $P^*(A_i|B)<P^*(A_i)$,则 $I_{A_i \rightarrow B}$ 为负值,这表示标志 A_i 存在条件下与成矿无关;若 $P^*(A_i|B)>P^*(A_i)$,则 $I_{A_i \rightarrow B}$ 为正值,这表示标志 A_i 与成矿关系密切,能提供找矿信息,且 $I_{A_i \rightarrow B}$ 越大提供找矿信息越多。

由此可见,这种计算方法的最大优点在于能自动优选有用变量(标志),剔除无关变量,而且以信息量大小来客观反映出各种标志与成矿关系的密切程度,因此是一种筛选变量和客观赋值的信息量算法。

应该说明的是,上述计算公式,最适用于已知成矿带中已知矿床(点)较多、资料较丰富、综合标志明显和信息量强的地区,能满足统计学的基本要求,则预测效果好。

1.4 综合信息量找矿模型构制

首先,由已知典型矿床所总结出来的矿床地质标志、地球物理标志、地球化学标志和遥感影像标志构成综合标志系列;然后,在选好的已知成矿带中,按上述“信息量计算方法”求取综合标志系列中各个标志状态的找矿信息量,选取拥有正信息量的标志组合,即构成综合信息量条件概率找矿模型。

1.5 异常信息量评价

1) 异常评序

在对工作区内的地物化遥资料深入研究的基础上,对待评异常逐个地从信息库中研究提取其所处环境中拥有的地物化遥标志,以“模型”为标度来赋予各相应标志的找矿信息量并求和,即成为拥有找矿信息量的异常——称赋值异常;然后按赋值异常信息量的大小排序,即得具有找矿差异性的异常序号。

2) 异常分类

首先将全部赋值异常所跨信息量的全区间,按一定的步长分成若干小区间,统计各小区间内的异常频数,绘制异常信息量频数分布图(如图2),找出曲线上的拐点,此拐点的横坐